

Inhalt

Vorwort	5
1 Elektrisches Power Management	15
1.1 Entwicklungsgeschichte der elektrischen Energietechnik.....	17
1.2 Zentrales und dezentrales Energiemanagement.....	22
1.3 Internationales SI-Einheitensystem.....	25
2 Leistungshalbleiter und Stromrichterschaltungen	27
2.1 Einteilung der Stromrichterstellglieder.....	28
2.2 Leistungshalbleiter für Stromrichterschaltungen.....	31
2.2.1 Leistungsdioden.....	33
2.2.2 Thyristoren	35
2.2.2.1 Zweirichtungsthyristor (Triac).....	36
2.2.2.2 Abschaltthyristor (GTO)	37
2.2.2.3 Spannungsgesteuerter Thyristor (MCT, IGCT).....	38
2.2.3 Leistungstransistoren.....	40
2.2.3.1 Feldeffekttransistor (MOSFET).....	40
2.2.3.2 Isolierter Bipolartransistor (IGBT)	41
2.3 Dimensionierung von Stromrichterschaltungen	44
2.3.1 Schutzbeschaltung	44
2.3.2 Digitale Ansteuerung.....	46
2.3.3 Erwärmung und Kühlung.....	48
2.4 Oberschwingungen und Leistungsspektren in Stromrichtern	51
2.4.1 Spektren periodischer Mischgrößen	51
2.4.2 Welligkeit und Formfaktor pulsierender Gleichgrößen	53
2.4.3 Grundschwingungsgehalt und Klirrfaktor nichtsinusförmiger Wechselgrößen.....	58
2.4.4 Leistungsbilanz in Stromrichterschaltungen.....	61
2.4.4.1 Sinusförmige Spannungen und nichtsinusförmige Ströme	64
2.4.4.2 Verzerrte Spannungen und verzerrte Ströme	67
2.5 Wirkungsgrad von Stromrichtergeräten.....	69
2.6 Leistungselektronik und Mikroelektronik	71
2.6.1 Störsicherheit der Rechnerhardware	71
2.6.2 Timing von Stromrichtersoftware	74
2.7 Smart-Power-Chips	77

3	Kommutierungslose Stromrichterschaltungen	79
3.1	Wechselstromsteller (W1)	80
3.1.1	Ohm'sche Belastung	81
3.1.1.1	Steuerfunktionen	82
3.1.1.2	Grund- und Oberschwingungsspektren	84
3.1.2	Induktive Belastung	87
3.1.3	Ohm'sch-induktive Belastung	90
3.1.4	Phasenanschnittsteuerung	94
3.1.5	Schwingungspaketsteuerung	96
3.2	Drehstromsteller (W3)	97
3.2.1	Betrieb ohne Neutralleiter	98
3.2.2	Fünfpolige Reversierschaltung (W5)	100
3.2.3	Drehstromsteller-Sparschaltung (W2)	101
3.2.4	Vierpolige Reversiersparschaltung (W4)	101
3.2.5	Reversierschaltung für Universalmotoren	102
3.2.6	Einphasiger Direktumrichter mit Kondensatormotor	103
4	Netzgeführte Stromrichterschaltungen	105
4.1	Wechselstrom-Brückenschaltung (B2)	106
4.1.1	Ungesteuerter Betrieb	107
4.1.2	Voll gesteuerter Betrieb	110
4.1.3	Kommutierungsbetrieb	113
4.1.3.1	Belastungs- und Steuerkennlinien	114
4.1.3.2	Wechselrichtertrittgrenze	117
4.1.4	Lückbetrieb	119
4.1.4.1	Steuerkennlinien im Lückbetrieb	121
4.1.4.2	Belastungskennlinien im Lückbetrieb	123
4.1.5	Oberschwingungsspektren	125
4.1.6	Ansteyerverfahren	135
4.1.6.1	Phasenanschnittsteuerung	135
4.1.6.2	Folgesteuerung	136
4.1.6.3	Halb gesteuerter Betrieb	138
4.1.7	Blindleistungsbedarf	140
4.1.8	Stromrichtertransformator	143
4.2	Drehstrom-Brückenschaltung (B6)	144
4.2.1	Kommutierungsbetrieb	147
4.2.2	Lückbetrieb	149
4.2.3	Impulsdiagramm	151
4.2.4	Oberschwingungsspektren	154
4.3	Umkehrstromrichterschaltungen	157
4.3.1	Betriebsquadranten	157
4.3.2	Umschaltvorgang	160

4.3.3	Dreiphasiger Direktumrichter	161
4.4	Netzfremdliche Stromrichter (PFC).....	163
5	Selbstgeführte Stromrichterschaltungen	167
5.1	Gleichstromstellerschaltungen (Chopper).....	168
5.1.1	Tiefsetzsteller	168
5.1.2	Hochsetzsteller.....	172
5.1.3	Kommutierungsvorgang.....	173
5.1.4	Oberschwingungsspektren	177
5.1.5	Mehrquadranten-Chopper	180
5.1.6	Steuerverfahren.....	184
5.2	Selbstgeführte Wechselrichterschaltungen	187
5.2.1	Wechselstrom-Brückenschaltung (B2)	188
5.2.1.1	Leistungsbetrachtungen	191
5.2.1.2	Sinusbewertete Pulsweitenmodulation (PWM).....	192
5.2.2	Drehstrom-Brückenschaltung (B6).....	195
5.2.2.1	Synthetisches Drehspannungssystem	196
5.2.2.2	Spannungs-Raumzeigermodulation	201
5.2.2.3	Oberschwingungsspektren	206
5.2.3	Frequenzumrichter	210
6	Elektromechanische Antriebssysteme	213
6.1	Mechanische Bewegungsvorgänge (Rotation/Translation).....	215
6.2	Fremderregte Gleichstrommaschine	221
6.3	Universalmotor/Gleichstrom-Reihenschlussmaschine.....	227
6.4	Drehstrom-Transformator.....	230
6.4.1	Aufbau und Wirkungsweise des Transformators.....	231
6.4.2	Ersatzschaltbild des Transformators	233
6.4.3	Zeigerdiagramm des Transformators.....	236
6.4.4	Bestimmung der Parameter des Transformators	239
6.5	Drehstromasynchronmaschine	244
6.5.1	Aufbau und Wirkungsweise der Asynchronmaschine.....	245
6.5.2	Einphasiges Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine.....	249
6.5.3	Zeigerdiagramm der Asynchronmaschine.....	251
6.5.4	Stromortskurve der Asynchronmaschine.....	253
6.5.5	Drehmoment-Kennlinien der Asynchronmaschine.....	256
6.5.6	Feldorientierung der Asynchronmaschine.....	259
6.6	Drehstromasynchronlinearmotor.....	261
7	Lage-Drehzahl-Drehmoment-Regelung	267
7.1	Klassische Kaskadenstruktur	267
7.1.1	Drehmomentregelung	271

7.1.2	Drehzahl-Regelung	276
7.1.3	Lage-/Positions-Regelung	279
7.1.4	Analoger PI-Regler	281
7.1.5	Digitaler PI-Regelalgorithmus	285
7.2	Ankerstromregelung der Gleichstrommaschine	291
7.2.1	Linearisierung des Lückbetriebs	294
7.2.2	Führungs- und Störverhalten	296
7.3	Einquadranten-Drehstromantriebe	298
7.3.1	Spannungssteuerung der Asynchronmaschine	299
7.3.2	Dynamik und Genauigkeit	302
7.4	Vierquadranten-Drehstromantriebe	303
7.4.1	Frequenzsteuerung der Asynchronmaschine	304
7.4.1.1	Spannungs-Frequenz-Kennlinie	306
7.4.1.2	Dynamik und Genauigkeit	307
7.4.2	Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine	309
7.4.2.1	Raumzeigerdarstellung	314
7.4.2.2	Dynamik und Genauigkeit	318
8	Sensorlose und redundante Antriebe mit Beobachtern	321
8.1	Beobachter vs. Sensoren	322
8.2	Sensorloser Gleichstromantrieb	323
8.2.1	Strom- und Spannungsbeobachter	325
8.2.2	Drehzahlbeobachter	328
8.2.3	Dynamik und Genauigkeit	334
8.2.4	Beobachter plus Sensor gleich Redundanz	336
9	Intelligente Bussysteme	339
9.1	Bus-Architektur (Hardware)	341
9.1.1	Digital Power Line (DPL)	343
9.1.2	Funkende Feldbusse	345
9.1.3	Radio Frequency Identification (RFID)	346
9.2	Busprotokolle (Software)	348
9.3	Buszugriffsverfahren (CSMA, Polling, Token)	350
9.4	Etablierte Feldbussysteme	352
9.5	Automatisierungsbeispiele	358
10	Mathematischer Anhang	363
10.1	Regeln der komplexen Rechnung	363
10.2	Trigonometrische Umformungen	364
10.3	Lösungsintegrale	367
10.4	Ableitungen (Differenziale)	368
10.5	Laplace-Transformation (Korrespondenzen)	370

10.6	Matrizenoperationen	372
10.7	Fourier-Transformation periodischer Größen.....	374
10.8	Arithmetische und effektive Mittelwerte	375
11	Literatur	377
11.1	Bücher	377
11.2	Patente	378
11.3	Fachaufsätze.....	378
	Stichwortverzeichnis	385